

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-285708

(43)Date of publication of application : 01.11.1996

(51)Int.Cl.

G01L 9/00

(21)Application number : 07-087239

(71)Applicant : FUJI ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 12.04.1995

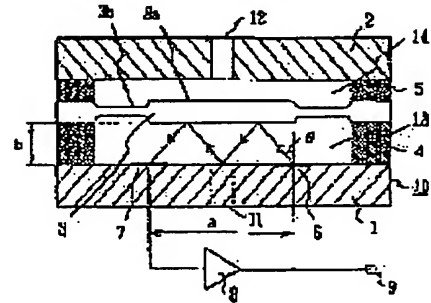
(72)Inventor : TAKAHASHI MASATO  
TSURUOKA MICHIIKO  
YOSHIMURA HIROYUKI

## (54) PRESSURE SENSOR

## (57)Abstract:

**PURPOSE:** To detect even a micro pressure accurately by arranging interdigital electrodes, each comprising a plurality of pectinate electrodes, on a piezoelectric substrate while spaced apart from each other.

**CONSTITUTION:** First and second interdigital electrodes (IDT) 6, 7 are arranged on the surface of a piezoelectric substrate 1 while spaced apart by a distance (a). The gap between the substrate 1 and a diaphragm 3 is filled with a liquid 13. The substrate 1 and a cover 2 are provided with first and second pressure introduction holes 11, 12. When an AC electric signal is applied to the first IDT 6, an ultrasonic wave is excited which propagates through the liquid 13 and reflected repeatedly between the diaphragm 3 and the substrate 1 before arriving at the second IDTs 7. Furthermore, a frequency output terminal 9 is provided on the output side of a feedback amplifier 8 in order to detect the pressure difference, i.e., displacement of the diaphragm 3, in the form of frequency variation.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-285708

(43) 公開日 平成8年(1996)11月1日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

G 0 1 L 9/00

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 1 L 9/00

技術表示箇所

A

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平7-87239

(22) 出願日 平成7年(1995)4月12日

(71) 出願人 000005234

富士電機株式会社

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

(72) 発明者 高橋 正人

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(72) 発明者 鶴岡 亨彦

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(72) 発明者 吉村 弘幸

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

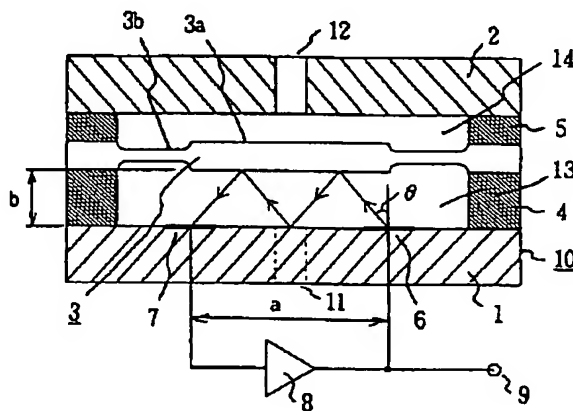
(74) 代理人 弁理士 松崎 清

(54) 【発明の名称】 圧力センサ

(57) 【要約】

【目的】 微小な圧力でも精度良く検出できるよう、圧力センサにおける検出感度の向上を図る。

【構成】 1対の櫛歯状電極を組み合わせた電極6、7を圧電基板1上に離間して配置した超音波デバイス10から、液体13中に漏洩する弾性表面波(SAW)をダイアフラム3に反射させて液体遅延共振回路を構成し、ダイアフラム変位を周波数の変化として検出する形式の圧力センサにおいて、超音波を多重反射させる構成とすることにより、検出感度を向上させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 1対の櫛歯状電極をインターディジタル式に組み合わせた少なくとも2つの電極を圧電体基板上に互いに離間して配置することにより構成される入力用超音波素子および出力用超音波素子からなる超音波デバイスと、被測定対象の圧力変化に応動し超音波を反射するダイアフラムと、前記超音波デバイスとダイアフラムとを互いに離間して保持し、これら超音波デバイスおよびダイアフラムとともに液体を充填するための容器を構成するスペーサ部材と、前記出力用超音波素子で受けた

信号を増幅し、前記入力用超音波素子に信号を入力する帰還増幅器とを有し、前記入力用超音波素子から液体中に放射された超音波が超音波デバイスとダイアフラムとの間を少なくとも2回往復して反射された後、出力用超音波素子で受信されるように構成することを特徴とする圧力センサ。

【請求項2】 1対の櫛歯状電極をインターディジタル式に組み合わせた少なくとも2つの電極を圧電体基板上に互いに離間して配置することにより構成される入力用超音波素子および出力用超音波素子からなる第1、第2の超音波デバイスを、被測定対象の圧力変化に応動し超音波を反射するダイアフラムを挟んで対向配置する一方、前記第1、第2超音波デバイスとダイアフラムとをそれぞれ互いに離間して保持し、これら第1、第2超音波デバイスおよびダイアフラムとともに液体を充填するための容器をそれぞれ構成する第1、第2のスペーサ部材を設け、さらに、第1、第2超音波デバイスにはその出力用超音波素子で受けた信号を増幅し、その入力用超音波素子に信号をそれぞれ入力する第1、第2の帰還増幅器と、この第1、第2の帰還増幅器の各出力側に接続され、2つの信号の周波数差を測定する周波数比較回路とを設けたことを特徴とする圧力センサ。

【請求項3】 前記第1、第2超音波デバイスを、入力用超音波素子から放射された超音波が超音波デバイスとダイアフラムとの間を少なくとも2回往復して反射された後、出力用超音波素子で受信されるように構成することを特徴とする請求項2に記載の圧力センサ。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、特に検出感度を向上させることが可能な圧力センサ、特に弾性表面波(SAW: Surface Acoustic Wave)共振型の圧力センサに関する。

【0002】

【従来の技術】この種の圧力センサは、例えば、“Progress in the development of saw resonator pressure transducers”(1980 Ultrasonic Symposium, 696-701)、特公昭61-80024号公報、特開昭61-8213

0号公報等により公知である。

【0003】図4にその代表的な例(第1従来例)を示す。これは、1対の櫛歯状電極をインターディジタル式に組み合わせる構成した2つのインターディジタル電極(Inter-digital transducer: 以下IDTとも略記する)44を、圧電物質42で構成したダイアフラム43の表面に設け、帰還増幅回路45を組み合わせる構成して共振回路を構成し、ダイアフラム43に加わる圧力にて生じる歪みに伴う圧電基板中の音速変化を、共振周波数変化として検出するものである。

【0004】しかしながら、第1従来例ではダイアフラムを薄く形成することができないため、微小な圧力を検出することができない、という問題がある。これは、圧電基板を機械的加工によって削り取って薄くするとき高度な加工技術を必要とし、均一な品質の圧電基板を得るためには或る程度の厚さを必要とすることと、基台41に取り付けるために一定以上の剛性を持たせる必要があるからである。

【0005】上述の如き問題を解決することができ製作を容易にしたものとして、例えば特公平2-3129号公報に示すものや、“A hydrophone with a liquid delay line oscillator”(Journal of Applied Physics, Vol. 53, 4072-4074, June, 1982)等に示すものがある(第2従来例ともいう)。

【0006】以下、上記第2の従来例について、図5、図6を参照して説明する。なお、図6は図5をA方向から見た平面図である。ここでは、圧電基板51の2組のIDT電極52a、52bを設けた面に、圧力媒体となる液体53を接触させ、第1のIDT電極52aに交流電気信号を流して弾性表面波(SAW)を励起し、液体53中に超音波ビーム54を放射させる。この第1のIDT電極52aから放射された超音波ビーム54は、圧電基板51に対向して設けられたダイアフラム55で反射して第2のIDT電極52bに到達し、これにより励起された第2のIDT電極52bから得られた出力を、帰還増幅器56で増幅して再度第1のIDT電極52aに入力して、液体遅延共振回路を形成している。このような構成において、外部からの圧力でダイアフラム55が変位すると、液体中の超音波ビーム54の伝搬距離が変化し共振周波数の変化として現れるので、この変化から圧力を検出するものである。

【0007】ここで、上記第2従来例の原理につき、図7を参照して説明する。図7に示す如く、圧電基板51とダイアフラム(反射板)55との間隔をb、ダイアフラムの変位量を $\delta$ 、第1、第2IDT電極間の間隔をa、超音波ビームの最短伝搬距離をL、ダイアフラムが $\delta$ 変位した後の伝搬距離をL- $\Delta L$ とすると、幾何学的な関係から、

10

20

30

40

50

$$\Delta L = 4b \times \delta / L$$

と近似できる ( $\Delta L^2 \approx 0$ ,  $\delta^2 \approx 0$ )。

$$f = n \times V_L / L$$

と表わされる。なお、 $V_L$  は液体中の音速、 $n$  はオーバートーン次数を示す。この (2) 式から、次の (3) 式※

$$\Delta f = -n \times V_L \times \Delta L / L^2$$

よって、(1)、(3) 式より、次の (4) 式が得られ★ ★る。

$$\Delta f = -4 \times n \times b \times V_L \times \delta / L^2$$

この (4) 式の関係より、ダイアフラムの変位を周波数の変化として捉えることができる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかし、このような第2従来例においても、まだ、改良すべき余地が残されている。したがって、この発明の課題は検出感度をさらに向上させ、微小な圧力でも精度良く検出し得るようにすることにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】このような課題を解決するため、請求項1の発明では、1対の櫛歯状電極をインターディジタル式に組み合わせた少なくとも2つの電極を圧電体基板上に互いに離間して配置することにより構成される入力用超音波素子および出力用超音波素子からなる超音波デバイスと、被測定対象の圧力変化に応動し超音波を反射するダイアフラムと、前記超音波デバイスとダイアフラムとを互いに離間して保持し、これら超音波デバイスおよびダイアフラムとともに液体を充填するための容器を構成するスペーサ部材と、前記出力用超音波素子で受けた信号を増幅し、前記入力用超音波素子に信号を入力する帰還増幅器とを有し、前記入力用超音波素子から液体中に放射された超音波が超音波デバイスとダイアフラムとの間を少なくとも2回往復して反射された後、出力用超音波素子で受信されるように構成することを特徴としている。

【0011】請求項2の発明では、1対の櫛歯状電極をインターディジタル式に組み合わせた少なくとも2つの電極を圧電体基板上に互いに離間して配置することにより構成される入力用超音波素子および出力用超音波素子からなる第1、第2の超音波デバイスを、被測定対象の圧力変化に応動し超音波を反射するダイアフラムを挟んで対向配置する一方、前記第1、第2超音波デバイスとダイアフラムとをそれぞれ互いに離間して保持し、これら第1、第2超音波デバイスおよびダイアフラムとともに液体を充填するための容器をそれぞれ構成する第1、第2のスペーサ部材を設け、さらに、第1、第2超音波デバイスにはその出力用超音波素子で受けた信号を増幅し、その入力用超音波素子に信号をそれぞれ入力する第1、第2の帰還増幅器と、この第1、第2の帰還増幅器の各出力側に接続され、2つの信号の周波数差を測定する周波数比較回路とを設けたことを特徴としている。上記請求項2の発明では、前記第1、第2超音波デバイス

$$\dots (1)$$

\* \* 【0008】一方、SAWの基本式から、

$$\dots (2)$$

※が導かれる。

$$\dots (3)$$

$$\dots (4)$$

を、入力用超音波素子から放射された超音波が超音波デバイスとダイアフラムとの間を少なくとも2回往復して反射された後、出力用超音波素子で受信されるように構成することができる（請求項3の発明）。

【0012】

【作用】圧力差によって生じるダイアフラムの変位は同じでも、請求項1の発明のように、超音波ビームを超音波素子とダイアフラムの間で複数回往復させることで、伝搬経路を大きくすることができ、これにより出力感度（周波数変化）を往復させた回数分だけ倍増させる。また、請求項2の発明の如く検出部を2組設けることで、ダイアフラムの変位に応じ一方の検出部では共振周波数を増加させ、他の検出部では共振周波数を減少させることができ、したがって、両者の周波数の差を求めることにより感度を2倍にする。さらに、請求項3の発明の如く検出部を2組設けるとともに、各検出部で超音波ビームを複数回往復させる、つまり、請求項1と請求項2との相乗効果により、感度を従来のものより少なくとも8倍以上高められるようにする。

【0013】

【実施例】図1はこの発明の第1実施例を示す断面図、図2は図1の圧電基板を示す平面図である。すなわち、圧電基板1の表面に、第1、第2のIDT6、7を距離aだけ離して配置し、超音波素子またはデバイス10を形成している。超音波デバイス10のIDT6、7と同じ面には、第1のスペーサ4を介してダイアフラム3が結合されている。また、このダイアフラム3の反対面には、第2のスペーサ5を介して蓋2が接合されており、この状態で各接合部分の気密が保たれている。

【0014】圧電基板1とダイアフラム3の間には、液体13（例えば、シリコンオイル等の不活性な圧力媒体）が充填されている。同様に、蓋2とダイアフラム3の間にも液体14が充填されているが、この実施例の場合こちら側は必ずしも液体である必要はなく、空気等の気体でも構わない。また、圧電基板1および蓋2には、それぞれ第1の導圧孔11と第2の導圧孔12が設けられており、測定対象となる外部の圧力を液体（または気体）を介して、ダイアフラム3に導く構成となっている。

【0015】第1のIDT6および第2のIDT7のそれぞれ一方の櫛歯状電極はアースに接続され、もう一方の櫛歯状電極は帰還増幅器8を介して接続されている。

第1のIDT(入力用トランスデューサともいう)6に交流電気信号を印加すると超音波が励起され、液体13中を伝搬してダイアフラム3と圧電基板1間で反射を繰り返して、第2のIDT(出力用トランスデューサともいう)7に到達する。これによって、いわゆる液体遅延共振回路が構成されている。また、帰還増幅器8の出力側には周波数出力端子9が設けられ、この出力端子9を介して圧力差、すなわちダイアフラム3の変位を周波数変化として検出することができる。このとき、第1のIDT6からの超音波の射出角 $\theta$ は、次式で与えられる。

$$\theta = \sin^{-1}(V_L / V_s)$$

$V_L$ : 液体中の音速、 $V_s$ : 基板中の音速

【0016】したがって、圧電基板1とダイアフラム3との間を往復させる回数によって、第1、第2のIDT6、7間の間隔aと、圧電基板1とダイアフラム3間の間隔bの値を適切な寸法に選べば良い。このように構成することにより、ダイアフラムの変位 $\delta$ が同じでも、超音波の伝搬距離の変化は2往復すれば2倍、3往復すれば3倍となり、先の(3)式の関係から $\Delta f$ も比例して大きく変化する。その結果、ダイアフラムの変位が微小でも充分な周波数変化を得ることができ、感度を向上させることができる。ただし、反射の回数や伝搬距離が増加するほど超音波の減衰が大きくなり、帰還増幅器で増幅する際のS/N比の低下を招くため、いたずらに反射回数を増やすことはあまり得策ではない。

【0017】また、この方式では、液体中の音速の変化が出力信号である周波数に比例関係で影響するため、温度変化による音速変化を補正する必要がある。従って、この実施例では圧電基板上に白金(Pt)薄膜の温度センサ15を形成し、温度検出回路16に接続して流体の温度を測定し、温度出力端子17を介して図示されない演算回路で、圧力検出値を補正する構成としている。このとき、温度センサは他のタイプのものでも良く、ダイオード、サーミスタまたは熱電対を用いることも可能である。

【0018】次に、製造方法について、簡単に説明する。近年のマイクロマシーニング技術の発達より、高精度の三次元加工が可能となっていることから、上述の如き構造のものを製作するには様々な方法が考えられる。例えば、圧電基板としてLiNbO<sub>3</sub>(ニオブ酸リチウム)、LiTaO<sub>3</sub>(タンタル酸リチウム)、水晶など多くの圧電材料が考えられ、この圧電材料表面に、IDTとなる櫛歯状電極薄膜を真空蒸着、スパッタ、CVD(気相法)等の方法で形成する。電極材料にはAu、Al等が考えられるが、接液するためできるだけ腐食や経時変化の少ない安定な材料を用いることが望ましい。

【0019】また、ダイアフラムとしては、半導体製造技術で一般的なシリコン等が挙げられ、等方性エッチングによって、図1に示す如き厚肉部3aと薄肉部3bを形成する。このとき、スペーサにガラスを用いれば、シ

リコンダイアフラムとは静電接合で接着することができ、また、スペーサをダイアフラムと一体的に製作すれば、接合回数を少なくし得る利点がある。

【0020】圧電材料とスペーサとは、各接合面に金属薄膜を真空蒸着、スパッタ、CVD等の方法により形成し、両者の拡散接合によって接合することが可能である。ただし、温度変化によって発生する線膨張差歪みの影響を極力低減するためには、使用温度範囲内でできるだけ線膨張係数の等しい材料を組み合わせたことが好ましく、場合によっては全て圧電材料で製作することも考えられる。

【0021】図3はこの発明の他の実施例を示す断面図である。同図からも明らかなように、超音波デバイス10の構造は図1、2の場合と同様であるが、ここでは、さらにダイアフラム3に対して対称な位置に超音波デバイス10'を配置する。超音波デバイス10'は超音波デバイス10と同じ構造であり、第1、第2のIDT6、7に対応する第3、第4のIDT6'、7'が設けられ、第2の帰還増幅器8'および液体14'とともに液体遅延共振回路が構成されている。また、第1の帰還増幅器8と第2の帰還増幅器8'の各出力は、周波数比較回路18に接続され、両者の周波数差を出力端子19を介して出力する構成となっている。

【0022】このような構成において、例えば第2の導圧孔12側に大きな圧力が加わると、ダイアフラム3は超音波デバイス10側に変位し、第1の圧電基板側では超音波の伝搬距離が短くなって、先のSAWの基本式(2)から、共振周波数は大きくなる。一方、第2の圧電基板側では超音波の伝搬距離が長くなって、共振周波数は小さくなる。従って、両者の周波数差を求めることによって、同じダイアフラム変位に対して2倍の周波数変化を得ることができ、より高感度の測定が可能となる。

【0023】この場合、できれば各超音波デバイス10、10'と、ダイアフラム3との間隔は等しくしておくことが望ましい。しかし、等しくない場合でも、圧力差が無い状態での周波数差(オフセット)の値を基準として、出力を求めることもできるので、必ずしも等しくする必要もない。この実施例の利点は、装置全体を半導体製造技術で製作するため、非常に小型化することができ、装置内部の温度分布を減らすことができるだけでなく、差動検出方式とすることで、両側のセンサにおける音速変化の影響をキャンセルすることが可能となる。

【0024】なお、図3の如き差動検出方式において、各超音波素子とダイアフラム間の反射を、第1の実施例のような多重反射方式とすることにより、より一層の検出感度の向上を期待でき、従来技術と比較して少なくとも8倍以上の感度を得られることが確かめられている。

【0025】

【発明の効果】請求項1の発明によれば、圧力差によ

て生じるダイアフラムの変位量は同じでも、超音波ビームを超音波素子とダイアフラムとの間で複数回往復させることで、伝搬経路の変化を大きくすることができ、これによって出力感度（周波数変化）を往復させた回数分だけ倍増することができる。その結果、センサを高感度にでき、ダイアフラムの変位が小さくても微小な圧力（圧力差）を検出することができる利点が得られる。また、圧電基板を薄くする必要もなく、製作も容易となる。

【0026】請求項2の発明によれば、検出部を2組設けたことにより、ダイアフラムの変位に伴い、一方の検出部では共振周波数が増加し、他方の検出部では共振周波数は減少するため、この両者の周波数の差を求めることで、感度をほぼ2倍にすることができる。これによっても、請求項1の発明と同様の効果を得ることができる。また、差動方式で検出するため、温度変化による液体中の音速変化等の誤差要因を、キャンセルし得る利点もある。さらに、上記請求項2の如き差動検出方式において、各超音波素子とダイアフラム間の反射を請求項3の発明の如く多重反射方式とすることにより、より一層\*20

\* 検出感度を向上させることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の第1実施例を示す断面図である。

【図2】図1の圧電基板を示す平面図である。

【図3】この発明の第2実施例を示す断面図である。

【図4】第1従来例を示す斜視図である。

【図5】第2従来例を示す断面図である。

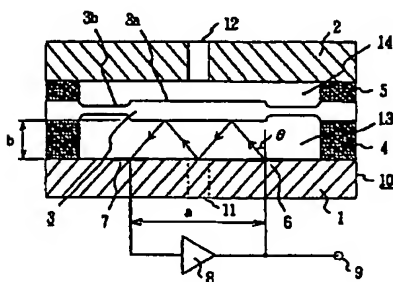
【図6】図5をA方向から見た平面図である。

【図7】第2従来例の原理説明図である。

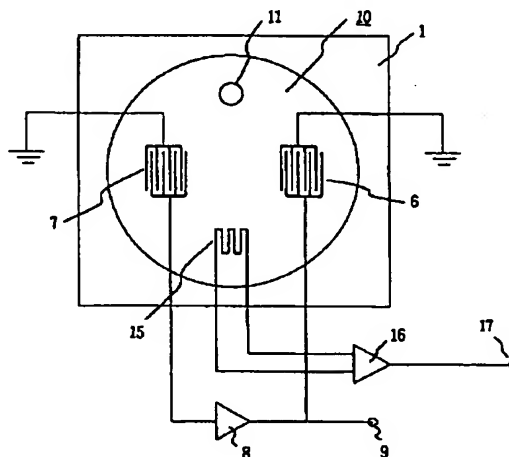
【符号の説明】

1…圧電基板、2…蓋、3…ダイアフラム、4…第1のスペーサ、5…第2のスペーサ、6…第1のIDT、7…第2のIDT、6'…第3のIDT、7'…第4のIDT、8…第1の帰還増幅器、8'…第1の帰還増幅器、9…周波数出力端子、10…超音波素子、10'…超音波素子、11…第1の導圧孔、12…第2の導圧孔、13…液体、14…液体（気体）、15…温度センサ、16…温度検出回路、17…温度出力端子、18…周波数比較回路、19…周波数出力端子。

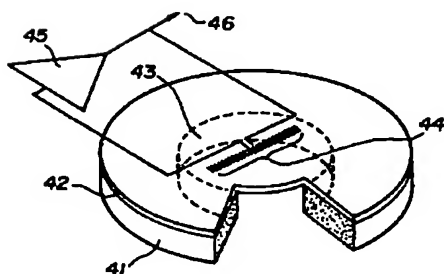
【図1】



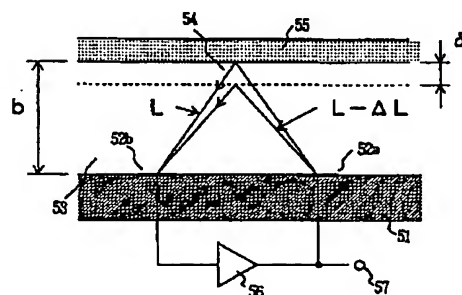
【図2】



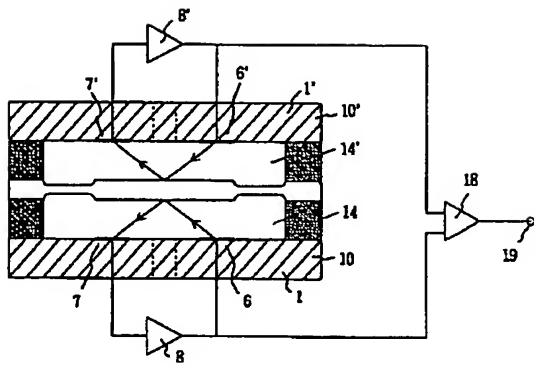
【図4】



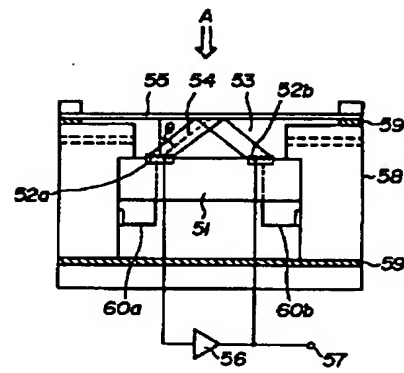
【図7】



【図3】



【図5】



【図6】

